

# 紫外ラマンライダーにおける偏光解消度測定系の開発

村山 利幸

東京海洋大学 海洋工学部 (〒135-8533 東京都江東区越中島 2-1-6)

## Development of Depolarization-Ratio Measurement System for UV-Raman Lidar

Toshiyuki MURAYAMA

Tokyo University of Marine Science and Technology, 2-1-6 Etchujima, Koto, Tokyo 135-8533

**Abstract:** We have extended and developed the UV-Raman lidar so as to measure the polarization ratio at 355 nm. Thus we obtain the aerosol backscatter and extinction coefficients, the lidar ratio, the particle depolarization ratio, and the water-vapor mixing ratio simultaneously. The method for optimizing the optics alignment and the calibrations are described. We will study the relationship between the lidar ratio and the particle depolarization ratio for the dust and cirrus clouds.

**Key Words:** Depolarization ratio, Raman Lidar, Cirrus, Aerosols, Lidar ratio

### 1. はじめに

我々は 355 nm を射出レーザー光としたミー・ラマンライダー（ここでは UV ラマンライダーと呼ぶ）により、対流圏エアロゾルの光学的特性（後方散乱係数、消散係数、ライダー比）及び水蒸気混合比の測定を夜間、晴天時に行ってきた<sup>1-4)</sup>。

最近、ライダーの多機能化を図るために弾性後方散乱光を出射レーザー光の偏光方向と平行及び垂直な成分に分け、偏光解消度も同時に測定可能なように、システムの拡充・開発を行った。ここでは、システムの構成、偏光解消度の精密測定に必要な校正方法と測定例について示す。

### 2. 偏光チャネルの構成

UV ラマンライダーの受信光学系においては、最初のダイクロイックミラーによって弾性散乱光を反射させている。直後の干渉フィルター（中心波長: 354.8 nm, 線幅: 0.84 nm）を透過後に、355 nm 用の偏光ビームスプリッター（PBS: Polarizing Beamsplitter Cube, CVI, 1"□）を挿入し、弾性散乱光を射出レーザーの直線偏光軸と平行 ( $P_{\parallel}$ ) 及び垂直 ( $P_{\perp}$ ) な成分に分離する。各々適当な ND フィルターを透過後、集光し、メタルパッケージ光電子増倍管（PMT: Hamamatsu, R7400P-03）で検出している。2つの PMT には一台の高圧電源から同じ電圧を印可している。これらの光学系は Thorlabs 社のレンズチューブなどを用い堅牢に固定される一方、以下で述べる校正は PBS-PMT 系を自由に回転・固定することによって行った。検出器系の外観を Fig. 1 に示す。

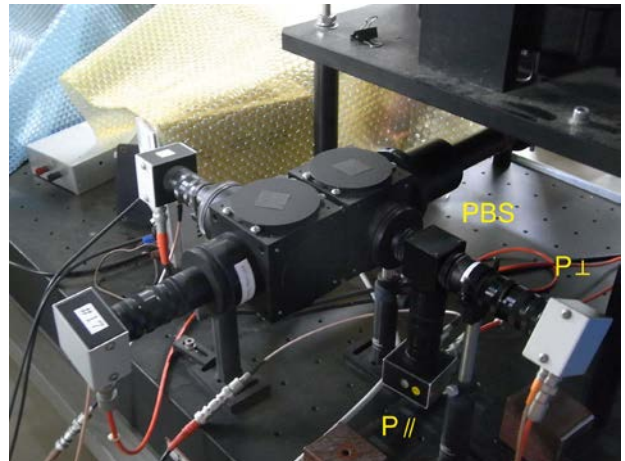


Fig. 1. Picture of the receiving optics and detectors. Elastically scattered lights are divided into parallel- and cross-polarized components by the PBS.

### 3. ゲイン比の校正

偏光解消度の正確な測定を行うには、 $P_{\parallel}$  及び  $P_{\perp}$  チャネルでの光学系の効率を含めた相対的な信号増幅率の比  $g(P_{\perp})/g(P_{\parallel})$ （ここではゲイン比と呼ぶ）及び偏光度の不完全さに伴う偏光解消度値のオフセットを見積もることが重要である。ゲイン比の測定は以下のような手順で行った。

PBS をほぼ  $P_{\parallel}$  と  $P_{\perp}$  を分離するように固定する（ここでは Fig.1 のように PBS- $P_{\parallel}$  が鉛直）。次に Nd:YAG レーザー（Spectra Physics, GCR-150-10）の Harmonic Generator 部を回転させ、射出レーザーの偏光軸を PBS の偏光軸に合わせる。次に文献 5 にある '±45°-calibration' 法によって、PBS-PMT

系を鉛直から $\pm 45^\circ$ 回転させ、両方の偏光チャンネルに等しい光量が入るとしてゲイン比を求めた。

文献5によれば、PBSのP及びS成分の不完全分離から、このゲイン比は10%程度大きくなることが示唆されるがPBSの詳細データがないのでここではその補正を行っていない。全散乱強度に対してはこの補正は必要ない。また、 $\lambda/2$ 板を用いて射出レーザー光の偏光方向を $\pm 45^\circ$ 回転させることによってほぼ同様なゲイン比の値を得ている。

トランジェントレコーダー (Licel, TR20-160) のアナログ入力レンジは完全には校正されていないので、Function Generatorを用いて校正した。

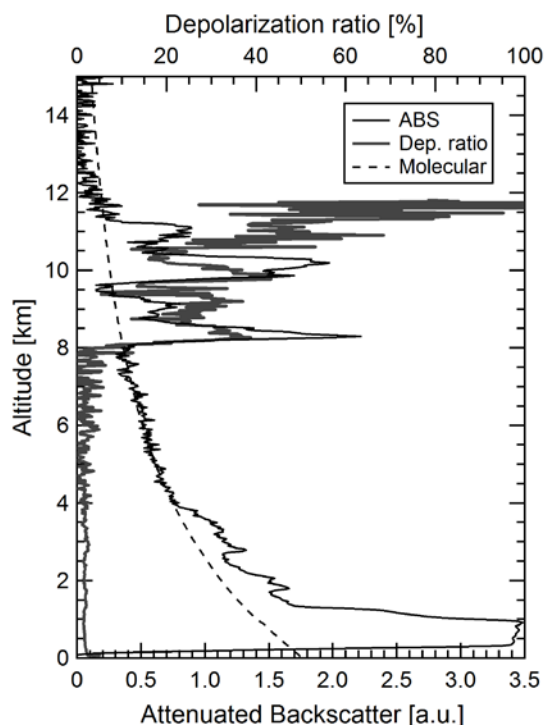


Fig. 2. Profiles of the depolarization ratio (gray) and attenuated backscatter (black) profiles at 14:49-15:54 JST, June 4, 2019. Expected molecular backscatter coefficients (dashed line) are superposed in arbitrary units.

#### 4. 測定例とオフセットの推定

Fig. 2に観測例を示す。高度8 km以上に存在する巻雲では数十%程度の偏光解消度を示すものの、それ以下の高度では2%以下の小さい値を示している。近接したラジオゾンデのデータから大気分子だけが存在した場合の後方散乱プロファイルを減衰後方散乱強度と重ねて示している。4-8 km

では両者の重なりが良く、ほとんどエアロゾルの寄与がないと思われる。前出の干渉フィルターの線幅(0.84 nm)の場合、文献6より大気分子による偏光解消度は0.6%と期待される。従って、4-5 kmでの偏光解消度は1.2%であるので、オフセットは約0.6%と推定される。

#### 5. まとめ

紫外UVラマンライダーに偏光解消度の測定を可能とする光学検出系を増設した。ゲイン比及びオフセットの定量的な校正を行った。今後は巻雲や黄砂などを対象として粒子偏光解消度とライダー比の相関を調べていきたい<sup>7)</sup>。また、この開発によって、衛星搭載ライダーATLID/EarthCAREと同じ光学パラメーターが得られることになった<sup>8)</sup>。

#### 参考文献

- 1) T. Murayama et al., Characterization of Asian dust and Siberian smoke with multi-wavelength Raman Lidar over Tokyo, Japan in spring 2003: *Geophys. Res. Lett.* **31** (2004) L23103, doi:10.1029/2004GL021105.
- 2) 村山 利幸, ラマンライダーによる東京上空の対流圏エアロゾルの光学的性質と水蒸気の長期観測: 第34回レーザーセンシングシンポジウム予稿集 (2016) 114.
- 3) 村山 利幸, 紫外ラマンライダーによる対流圏エアロゾルの光学的性質と水蒸気混合比の観測: 第35回レーザーセンシングシンポジウム予稿集 (2017) 64.
- 4) 村山 利幸, 紫外ラマンライダーによる対流圏エアロゾルの光学的性質と水蒸気混合比の観測 (2): 第36回レーザーセンシングシンポジウム予稿集 (2018) 92.
- 5) V. Freudentaler et al., Depolarization ratio profiling at several wavelengths in pure Saharan dust during SAMUM 2006: *Tellus* **61B** (2009) 165.
- 6) A. Behrendt and T. Nakamura, Calculation of the calibration constant of polarization lidar and its dependency on atmospheric temperature: *Optics Express* **10** (2002) 805.
- 7) J. Reichardt et al., Correlations among the optical properties of cirrus-cloud particles: Implications for spaceborne remote sensing: *Geophys. Res. Lett.* **29** (2002) 1668.
- 8) A. J. Illingworth et al., THE EARTHCARE SATELLITE The next step forward in global measurements of Clouds, Aerosols, Precipitation, and Radiation: *BAMS* (August 2015) 1311.